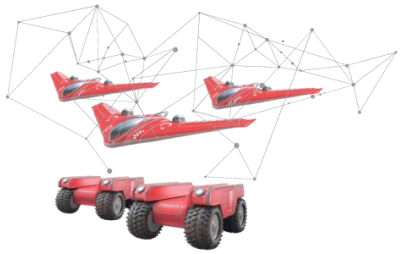


HAVELSAN

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

#MİLLİ TEKNOLOJİ HAMLESİ

Sürü İnsansız Hava Aracı Yarışması

Teknik Aşama – 1
Tasarım, Simülasyon ve Yazılım Sunuşu
Börteçine

Takım Tanıtımı ve Görev Paylaşımı

Takım Üyeleri:

Ahmet Can Türkmen (Genel Koordinatör) ~ İTÜ İnşaat Mühendisliği

Berat Sevimli (Elektronik) ~ İTÜ Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği

Can Çebi (Yazılım) ~ Arel Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği

İlhan Sarıkaya (Drone Tasarımı) ~ İTÜ Makine Mühendisliği

Erhan Chapar (Genel Koordinatör ve Takım Kaptanı) ~ İTÜ Makine Mühendisliği

Proje Gereksinimleri ve Yarışma Görevleri

TEKNOFEST 2025 Yarışma Görevleri:

3B Formasyon:

1. V, Çizgi ve Ok Başı formasyonlarını oluşturma ve koruma
2. Formasyonda ±1 metre hassasiyet hedefi
3. Formasyonlar arası geçişlerin yumuşak ve çarpışmasız şekilde yapılması

Sürü Halinde Navigasyon:

1. Formasyon korunarak ara noktalar arasında hareket
2. Haberleşme kesintisi durumunda navigasyonu sürdürebilme
3. 5 saniye kesintide ±2 metre formasyon hassasiyeti

Sürüden Birey Çıkarma/Ekleme:

1. Havadaki sürüden bir drone'un ayrılıp yeni bir drone'un katılması
2. 30 saniye içinde yeni formasyonun stabilize edilmesi

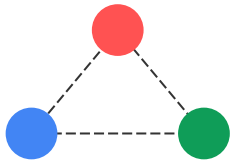
Keşif Görevi:

1. ArUco işaretçilerinin tespiti ve konum bilgisinin paylaşılması
2. İşaretçiye otonom iniş gerçekleştirme
3. 5 metre mesafeden ArUco belirtecini tespit edebilme

Proje Gereksinimleri ve Yarışma Görevleri

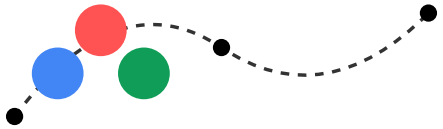
TEKNOFEST 2025 SÜRÜ İHA YARIŞMASI GÖREVLERİ

3B Formasyon



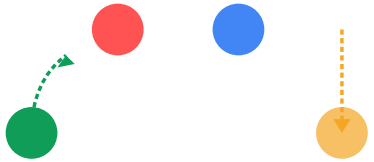
V, Çizgi, Ok Başı Formasyonları

Sürü Halinde Navigasyon



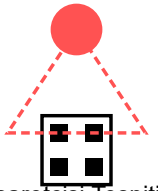
Formasyonu Koruyarak Rota Takibi

Sürüden Birey Çıkarma/Ekleme



Havadaki Sürüden Drone Değişimi

Keşif Görevi



ArUco İşaretçisi Tespiti ve İniş

Görevlere ait Çözümleri

3B Formasyon Çözümü:

- Lider drone, her drone için göreceli konum hesaplar:
  $P_i = P_L + R(\psi_L) \cdot d_i$
- Formasyonlar arası yumuşak geçiş için lineer interpolasyon
- Reynolds Boids modeline dayalı sürü davranışı (ayrılma, hizalanma, birliktelik)
- PID kontrol ile konum hatası sürekli düzeltilir

Navigasyon Çözümü:

- Lider drone navigasyon noktalarını tüm dronelar ile paylaşır
- Her drone, lokal sensörleri (GPS, pusula, IMU) kullanarak pozisyonunu korur
- İletişim kesildiğinde son bilinen görev hedeflerine devam edilir
- Potansiyel alan tabanlı çarpışma önleme algoritması

Birey Çıkarma/Ekleme:

- Merkezi ESP32 drone değişim sürecini yönetir
- Ayrılan drone için "eve dönüş" protokolü
- Yeni katılan drone için "sürüye katılım" prosedürü
- 30 saniye içinde yeni formasyon stabilizasyonu

Keşif Çözümü:

- ESP32-CAM modülü ile ArUco işaretçi tespiti
- OpenCV tabanlı görüntü işleme algoritması
- Konum bilgisinin NRF24L01 üzerinden diğer drone'lara iletilmesi
- Hassas konum kestirimi ve iniş kontrolü

Tasarım Çözümü ve Yazılım Arayüzleri

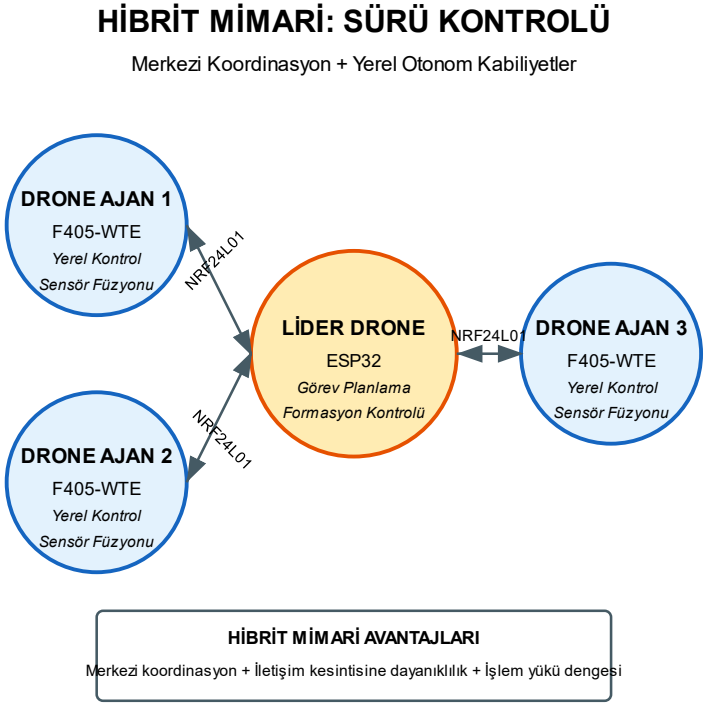
Sistem Mimarisi: Hibrit Kontrol Yaklaşımı

Neden Hibrit Mimari?

- Merkezi koordinasyon ve yerel otonom kabiliyetlerin avantajları
- İletişim kopsa bile her drone görevini sürdürebilir
- İşlem yükü dengeli dağıtılır
- Tek arıza noktası riski minimuma iner

Temel Bileşenler:

- Lider Drone: ESP32 tabanlı merkezi koordinatör
- Drone Ajanları: F405-WTE kontrolcü ile yerel otonom kabiliyetler
- Haberleşme: NRF24L01 2.4GHz modülleri (1000+ metre menzil)
- Keşif Sistemi: ArUco belirteçleri ve ESP32-CAM modülü



İHA Özellikleri

Donanım Bileşenleri:

- Uçuş Kontrol Kartı: STM32F4 tabanlı F405-WTE (168 MHz, 1 MB flash)
- GNSS Modülü: NEO-M9N-00B (±1.5m konum doğruluğu)
- Haberleşme: NRF24L01+PA+LNA (2.4GHz, 1000m+ menzil, 32-byte paketler)
- Motorlar: Emax Eco II 2306 (2400KV) - 4 motor başına 2-2.4kg itki
- ESC: Emax BLHeli 30A - DShot protokolü desteği
- Güç Sistemi: 4S 5000mAh 50C LiPo (10-15 dk uçuş süresi)
- Ek Sensörler: HMC5883L/QMC5883 pusula, barometre

Mekanik Tasarım:

- Quadcopter konfigürasyonu (X şeklinde yerleşım)
- 1.5-2.0 kg toplam ağırlık (1O kg sınırı altında)
- 5045 üç kanatlı pervane kullanımı
- Modüler ve dayanıklı şasi tasarımı

Elektronik Entegrasyonu:

- Sensör füzyonu için Kalman filtresi implementasyonu
- 100-200Hz kontrol döngüsü hızı
- Fail-safe mekanizmaları (batarya, haberleşme, GPS)
- ESP32-CAM ile görüntü işleme entegrasyonu

Altyapı ve Yazılım Çözümleri

Lider Drone (ESP32) Yazılımı:

- FreeRTOS tabanlı çoklu görev yönetimi
- Sürü koordinasyon algoritmaları
- Kablosuz haberleşme yönetimi (NRF24L01)
- Formasyon hesaplama ve görev planlaması

Drone Ajanları (F405-WTE) Yazılımı:

- Durum makinesi tabanlı görev yönetimi
- PID temelli konum ve oryantasyon kontrolü
- Kalman filtresi ile sensör füzyonu
- Lokal fail-safe mekanizmaları

Haberleşme Protokolü:

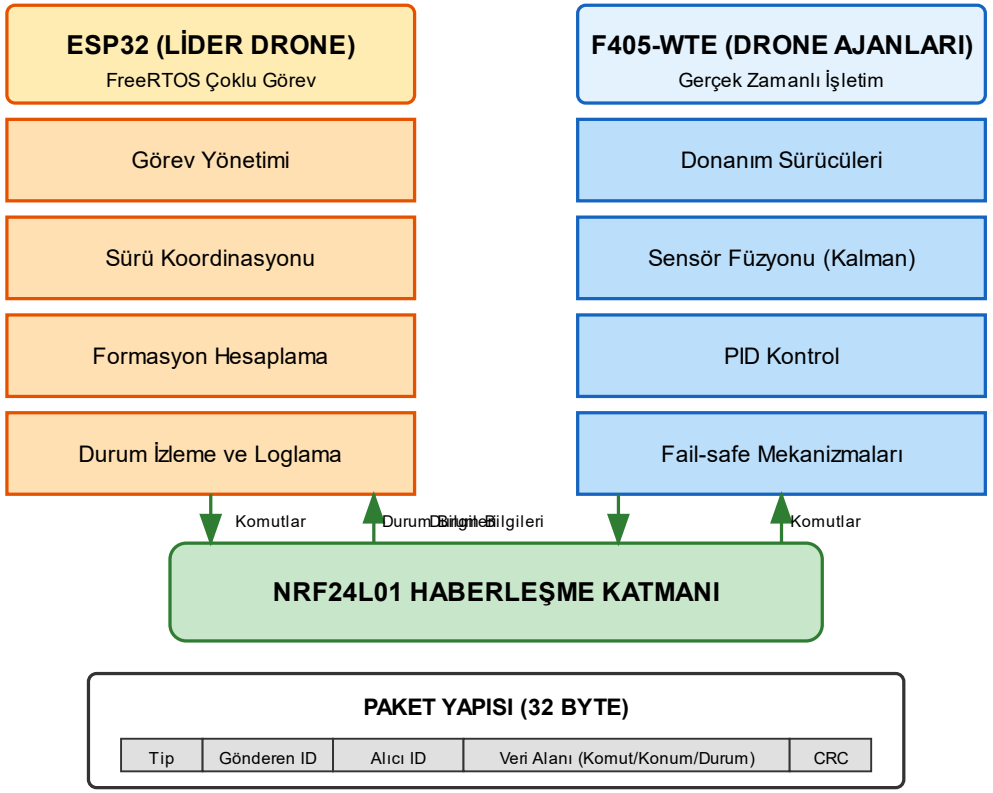
- 32-byte paket yapısı (Komut Tipi, ID, Veri Alanı, CRC)
- Komut tipleri: TAKEOFF, LAND, FORMATION, WAYPOINT, LEAVE_SWARM, JOIN_SWARM, EMERGENCY
- ACK mekanizması ile güvenilir iletişim
- 5-10ms gecikme ile gerçek zamanlı kontrol

ArUco Görüntü İşleme:

- OpenCV tabanlı ArUco belirteç tanıma
- ESP32-CAM ile entegrasyon
- Konum ve yönelim (pose) hesaplama
- NRF24L01 ile veri paylaşımı

Altyapı ve Yazılım Çözümleri

YAZILIM KATMANLARI VE VERİ AKIŞI



Formülizasyon

Formasyon Konumlandırma:

Formül: $P_i = P_L + R(\psi_L) \cdot d_i$

Anlamı:

- P_i: i. drone'un global pozisyonu
- P_L: Lider drone'un global pozisyonu
- $R(\psi_L)$: Lider drone'un yönelimine bağlı dönüş matrisi
- d_i: i. drone'un formasyondaki göreceli pozisyonu

Her drone, lider drone'a göre belirli bir mesafe ve açıda konumlanır. Lider hareket ettikçe veya döndükçe, tüm drone'lar da buna uygun şekilde pozisyonlarını günceller.

PID Kontrol Sistemi:

Formül: $u_i(t) = K_p \cdot e_i(t) + K_i \int e_i(\tau)\, d\tau + K_d\, de_i(t)/dt$

Anlamı:

- $u_i(t)$: Drone'un motorlarına verilen kontrol sinyali
- $e_i(t)$: Hedef pozisyon ile gerçek pozisyon arasındaki fark
- K_p, K_i, K_d: Kontrol parametreleri

PID, drone'un olması gereken nokta ile gerçek konumu arasındaki farkı sürekli düzelten bir kontrol sistemidir. Pozisyon hatası, hata birikimi ve hatanın değişim hızına göre motorlara güç ayarlaması yapar.

Çarpışma Konumlandırma:

Formül: $F_{rep,i} = \Sigma K_{rep} \cdot (P_i - P_j)/\|P_i - P_j\|^3 \cdot \max(0, d_{safe} - \|P_i - P_j\|)$

Anlamı:

- $F_{rep,i}$: i. drone üzerindeki itme kuvveti
- K_{rep}: İtme kuvveti katsayısı
- d_{safe}: Minimum güvenli mesafe (2 metre)
- $\|P_i - P_j\|$: Drone'lar arası mesafe

İki drone birbirine çok yaklaştığında aralarında itme kuvveti oluşur. Bu kuvvet, mesafe azaldıkça hızla artar ($1/\text{mesafe}^2$ oranında). Böylece drone'lar arası minimum 2 metre güvenli mesafe korunur.

Formülizasyon

SÜRÜ İHA FORMÜLİZASYONU

FORMASYON KONUMLANDIRMA

$$P_i = P_L + R(\psi_L) \cdot d_i$$

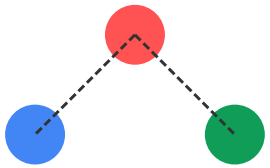
Açıklama:

P_i: i. drone'un pozisyonu

P_L: Lider drone'un pozisyonu

R(ψ_L): Lider yönelim dönüşümü

d_i: Formasyondaki ofset pozisyonu



Lider hareketi tüm formasyonu yönlendirir

PID KONTROL SİSTEMİ

$$u_i(t) = K_p \cdot e_i(t) + K_i \int e_i(\tau)\, d\tau + K_d\, de_i(t)/dt$$

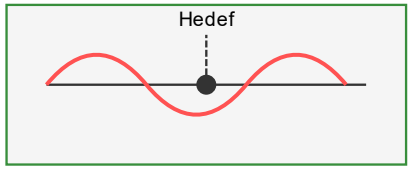
Açıklama:

e_i(t): Pozisyon hatası

K_p: Oransal katsayı

K_i: İntegral katsayı

K_d: Türevsel katsayı



Drone sürekli hedef pozisyonuna yönelir

ÇARPIŞMA ÖNLEME

$$F_{rep,i} = \Sigma K_{rep} \cdot (P_i - P_j) \cdot \max(0, d_{safe} - ||P_i - P_j||) \; ||P_i - P_j||^3$$

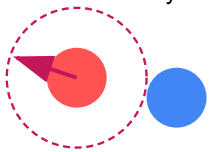
Açıklama:

F_rep,i: i. drone'a etkiyen itme

K_rep: İtme kuvveti katsayısı

d_safe: Minimum güvenli mesafe

(P_i - P_j): Drone'lar arası yön



Drone'lar arası güvenli mesafe korunur

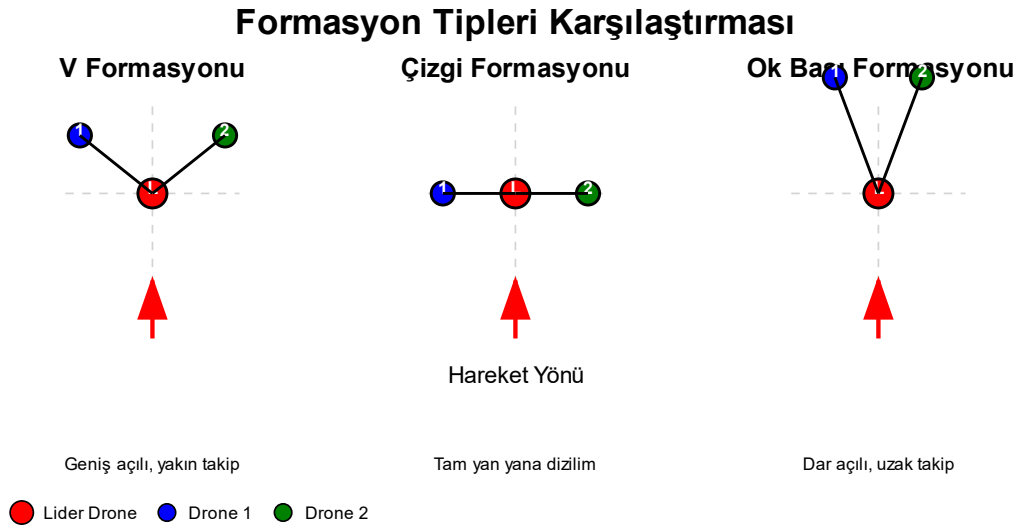
Formasyon ve Uçuş

Desteklenen Formasyon Tipleri:

1. V Formasyonu:
   - Lider drone önde, diğer drone'lar arkada ve yanlarda
   - Kuşların göç uçuşuna benzer yapı
   - Ofset değerleri: [(0,0,0), (-5,-4,0), (5,-4,0)]

2. Çizgi Formasyonu:
   - Drone'lar yan yana aynı hizada
   - Yatay düzlemde paralel uçuş
   - Ofset değerleri: [(0,0,0), (-5,0,0), (5,0,0)]

3. Ok Başı Formasyonu:
   - Lider drone önde, diğer drone'lar arkada ve içe doğru
   - İleri hareketi vurgulayan yapı
   - Ofset değerleri: [(0,0,0), (-3,-8,0), (3,-8,0)]



Pseudo kod ve Akış Diyagramı

Lider Drone (ESP32)
Ana Algoritması:

```
BAŞLANGIÇ:
    Sistem başlat (ESP32, NRF24L01, SD kart)
    FreeRTOS görevlerini oluştur:
        İletişim_Görevi (2ms periyot)
        Formasyon_Hesaplama_Görevi (50ms periyot)
        Görev_Yönetim_Görevi (100ms periyot)
        Durum_İzleme_Görevi (500ms periyot)

İLETİŞİM_GÖREVİ:
    Her drone için:
        Durum paketlerini al
        Komut paketlerini gönder
    Haberleşme durumunu güncelle

FORMASYON_HESAPLAMA_GÖREVİ:
    Aktif formasyona göre:
        Her drone için hedef pozisyon hesapla
        Çarpışma risklerini kontrol et
        Pozisyon düzeltmelerini uygula
    Komut kuyruğunu güncelle

GÖREV_YÖNETİM_GÖREVİ:
    Görev durumunu kontrol et:
        BAŞLANGIÇ → KALKIŞ → FORMASYON → NAVİGASYON →
        BİREY_DEĞİŞİMİ → KEŞİF → İNİŞ
    Geçiş koşullarını değerlendir
    Yeni görev aşamasını başlat

DURUM_İZLEME_GÖREVİ:
    Tüm drone'ların durumunu logla
    Batarya seviyelerini kontrol et
    GPS kalitesini izle
    Arıza durumlarını tespit et
```

Drone Ajanı (F405-WTE)
Ana Algoritması:

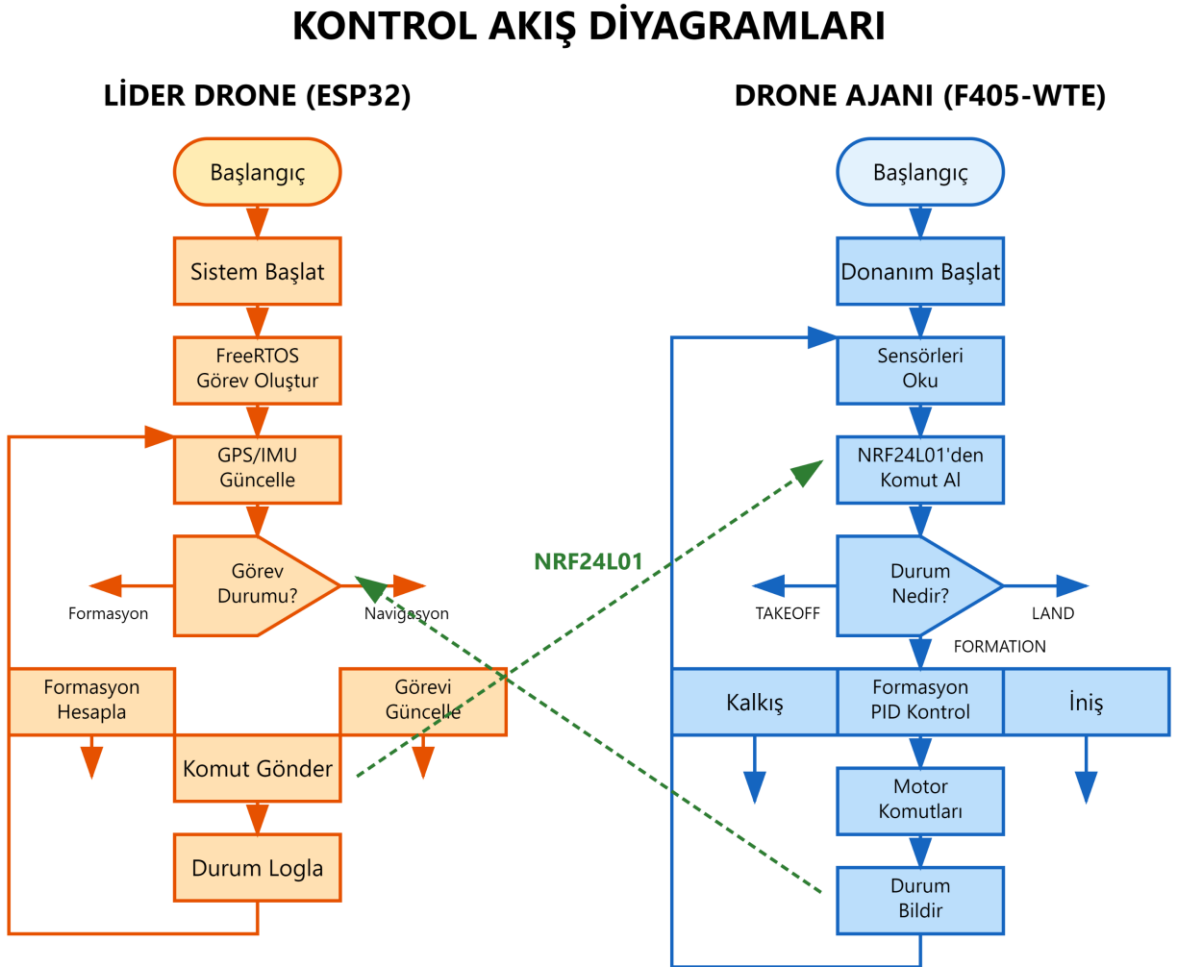
```
BAŞLANGIÇ:
    Donanımı başlat (F405-WTE, sensörler, ESC)
    Kalman filtresi ayarla
    PID kontrolcülerini ayarla
    Fail-safe parametrelerini tanımla

ANA_DÖNGÜ (200Hz):
    Sensörleri oku (IMU, GPS, pusula, barometre)
    Sensör füzyonu ile konum güncelle
    Haberleşme modülünden komut al

    DURUM_MAKİNESİ:
        BEKLE: Motorlar kapalı, komut bekle
        KALKIŞ: Kontrollü yükselme
        FORMASYON: PID ile hedef formasyonu koru
        NAVİGASYON: Ara noktalar arasında git
        İNİŞ: Kontrollü alçalma
        ACİL_DURUM: Güvenli iniş protokolü

    PID hesaplamalarını yap
    Motor komutlarını güncelle
    Durum verisini gönder
    Fail-safe kontrollerini yap
```

Pseudo kod ve Akış Diyagramı



Simülasyon

Simülasyon Ortamı:

- Python tabanlı 2D/3D simülasyon
- Matplotlib ile gerçek zamanlı görselleştirme
- Formasyon algoritmaları ve geçişlerin test edilmesi
- Reynolds Boids ve çarpışma önleme algoritmaları doğrulanması

Simülasyon Sonuçları:

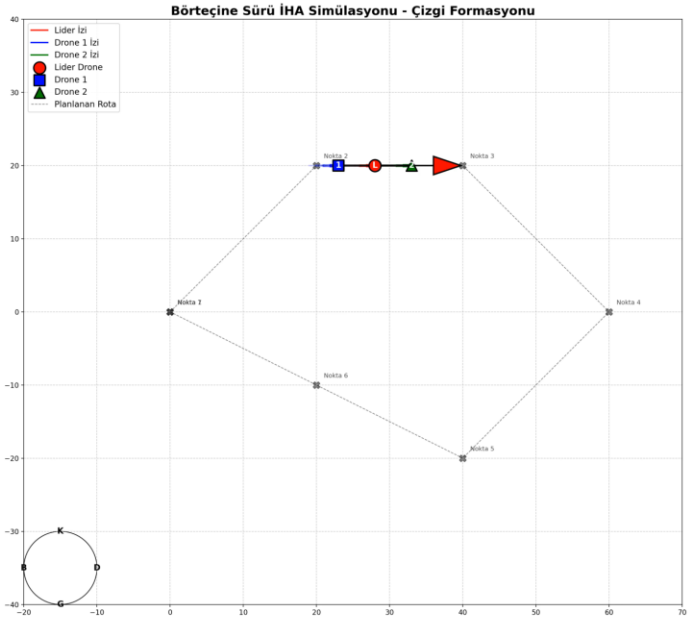
- Formasyon hassasiyeti: Hedef pozisyona göre ortalama <0.5m sapma
- Çarpışma önleme: Minimum 2m drone'lar arası mesafe korundu
- Haberleşme kesintisi: 5-10s kesintide formasyon bozulmadı
- Formasyon geçişleri: Yumuşak ve stabil geçişler gerçekleşti

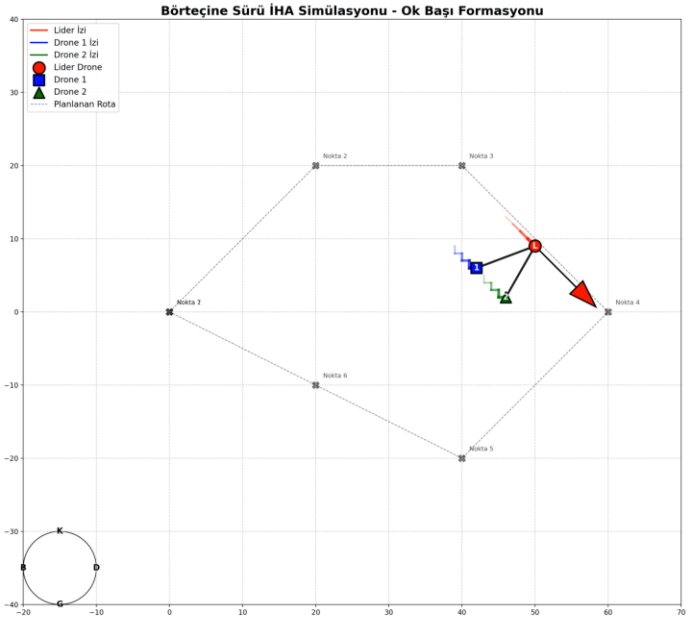
Yörünge ve Formasyon Değişimleri:

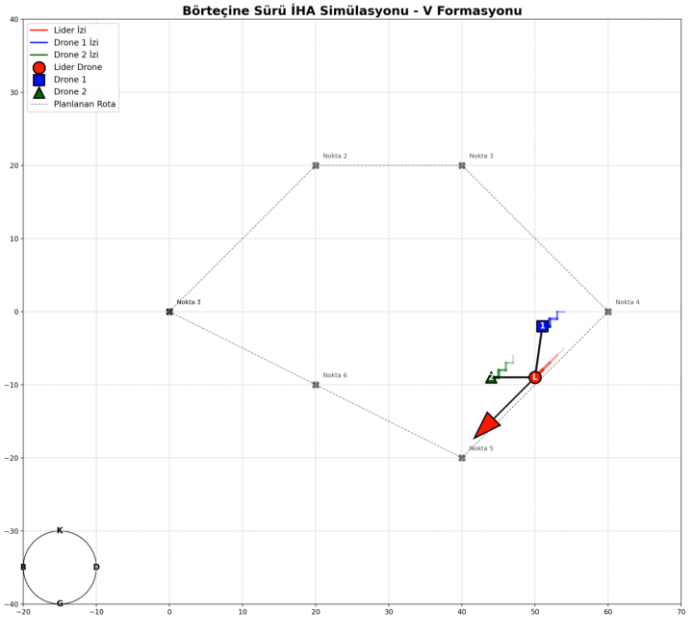
- Belirli yörünge noktaları arasında navigasyon
- Farklı formasyonlara geçişler (V, Çizgi, Ok Başı)
- Lider drone'un hareket yönüne göre tüm formasyonun dönmesi
- İz (trail) takibi ile hareket kalıplarının analizi

Simülasyon

Görseller:

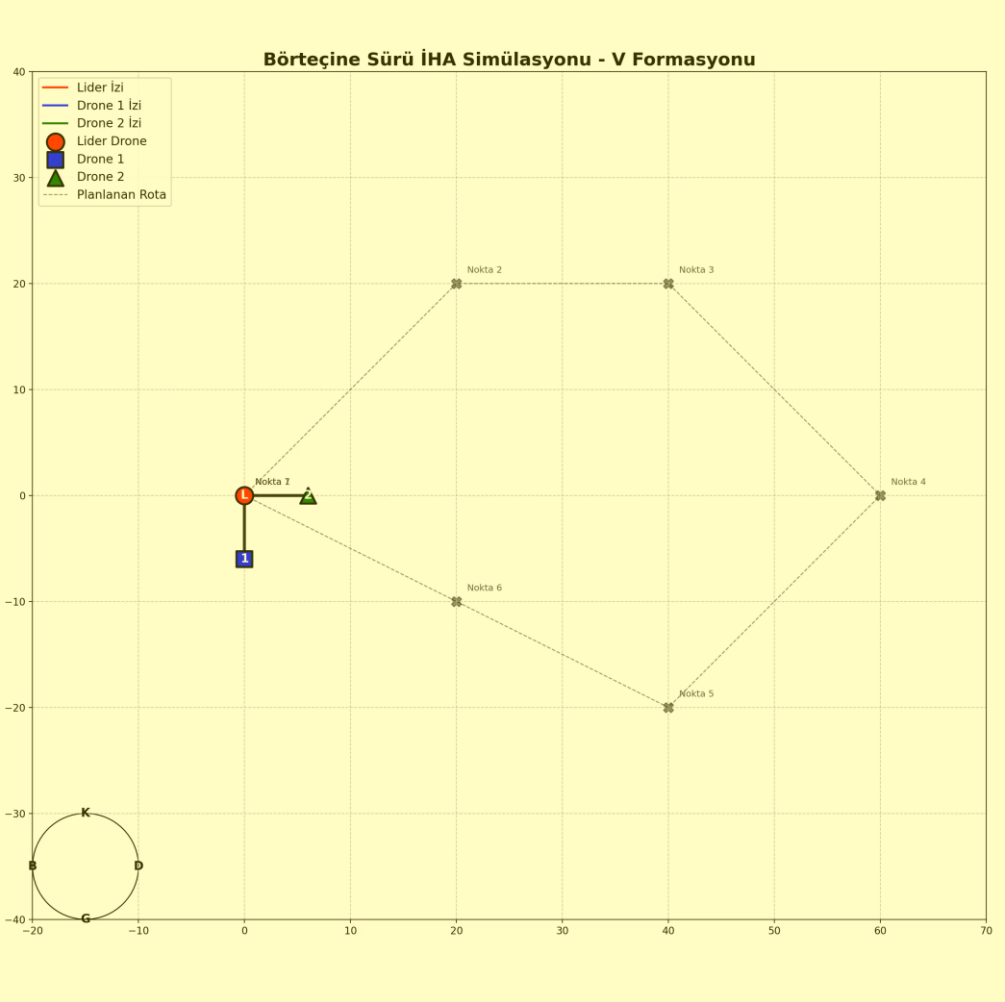




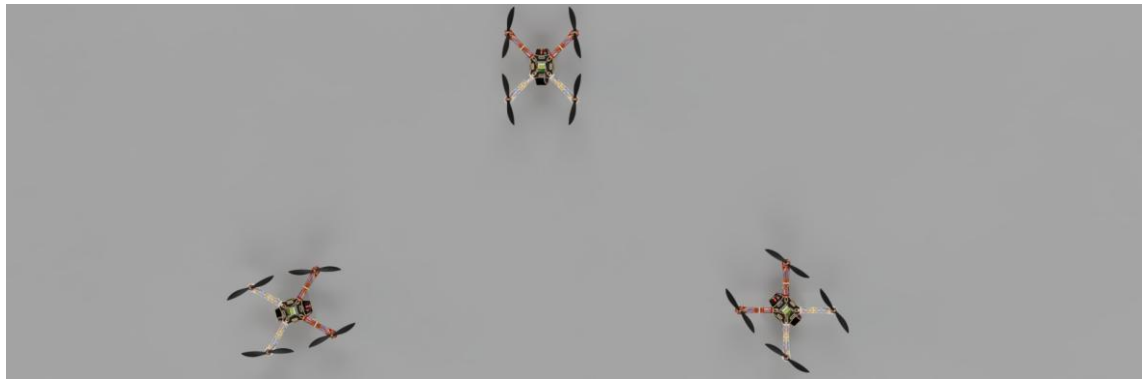


Simülasyon

Animasyon video:



Render Görüntüleri



Referanslar

1. Reynolds, C. W. (1987). "Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model." Computer Graphics, 21(4), 25-34.
2. Khatib, O. (1986). "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots." The International Journal of Robotics Research, 5(1), 90-98.
3. Meier, L., Honegger, D., & Pollefeys, M. (2015). "PX4: A node-based multithreaded open-source robotics framework for deeply embedded platforms." IEEE International Conference on Robotics and Automation.
4. Koenig, N., & Howard, A. (2004). "Design and use paradigms for Gazebo, an open-source multi-robot simulator." IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.
5. 2025 Sürü İHA Yarışması Şartnamesi
6. STM32CubeIDE Resmi Dokümantasyonu
7. nRF24L01+ Resmi Dokümanları: nordicsemi.com
8. ESP32 (Espressif): docs.espressif.com
9. OpenCV ArUco Modülü Dokümantasyonu

Teşekkürler

Börteçine Ekibi